

DESAIN SISTEM KONTROL ROBUST PID H^∞ CONTROL DENGAN OPTIMASI GENETIC ALGORITHM UNTUK ATTITUDE CONTROL QUADROTOR UAV

by Dr. Aris Triwiyatno, S.t., M.t.

Submission date: 07-Feb-2020 08:49AM (UTC+0700)

Submission ID: 1252891486

File name: Paper_C-5-17.pdf (832.25K)

Word count: 3143

Character count: 16708

DESAIN SISTEM KONTROL *ROBUST PID H_∞ CONTROL* DENGAN OPTIMASI *GENETIC ALGORITHM* UNTUK *ATTITUDE CONTROL QUADROTOR UAV*

Muhammad Fadli Nasution ^{*)}, Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

^{*)}E-mail: nasution.fadli@gmail.com

1. Pendahuluan

Sistem kontrol *robust* adalah sebuah kontroler yang mampu menjaga stabilitas dan performansi sistem terlepas dari ketidakpastian dalam dinamika sistem di dalam lingkungan kerja tertentu. Sistem yang *robust* merupakan hal yang penting dalam suatu desain kontrol karena sistem di dunia nyata sangat rentan terhadap gangguan dan noise[1].

Berdasarkan prosedur standar kontrol *robust*[2], terdapat banyak teknik dalam merancang kontrol *robust*. Contohnya fungsi *mixed sensitivity*, *mu-synthesis*, *H_∞ Loop Shaping* dll. Namun kontroler yang dirancang dengan teknik ini memiliki struktur yang rumit dengan orde yang tinggi. [3].

Kontroler PID telah umum digunakan dalam aplikasi industri karena kesederhanaan fungsi. Dalam metode klasik kontroler PID, karakteristik dari nominal sistem sangat diperhatikan, namun stabilitas dan performa yang *robust* tidak jelas dalam hal ini[4]. Di sisi lain, dalam beberapa tahun terakhir beberapa metode perancangan kontroler *robust PID* telah di ajukan dalam beberapa masalah pengontrolan[5]-[8].

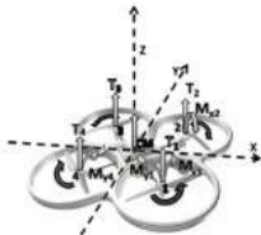
Quadrotor adalah wahana kecil dengan 4 rotor di sekeliling badan utama[9]. Beberapa studi untuk pengontrolan *quadrotor* telah dilakukan seperti kontroler PD[10], *linearisasi feedback* dan *BS-PID*[11], atau kontroler LQ[12], tetapi kebanyakan mengontrol sistem tanpa memasukkan ketidakpastian sistem yang merupakan aspek penting dalam stabilitas suatu sistem.

Penelitian ini bertujuan merancang sistem kendali *robust PID* berdasarkan teori *H_∞ loop shaping* dan *H_∞ mixed sensitivity* yang parameternya dioptimasi menggunakan algoritma genetika untuk mengendalikan *attitude quadrotor*. Sistem kontrol ini diharapkan dapat mengatasi ketidakpastian sistem dengan tetap menjaga struktur kontroler yang sederhana.

2. Metode

2.1 Pemodelan Quadrotor

Sebuah *quadrotor* terdiri dari empat lengan yang saling tegak lurus, masing-masing dengan sebuah motor dan rotor. Sistem ini terdiri dari dua pasang rotor berlawanan. Untuk menyeimbangkan torsi, satu pasang berputar searah jarum jam, sementara lainnya berputar berlawanan arah jarum jam. *Quadrotor* memiliki enam derajat kebebasan, Cartesian (*X, Y, Z*) dan sudut (*φ, θ, ψ*)[13].



Gambar 1. Gaya dan torsi yang dihasilkan oleh penggerak *Quadrotor*.

Persamaan (1)-(6) merupakan persamaan *Quadrotor* yang diturunkan dari metode *Euler-Newton*.

$$\ddot{X} = (\sin \psi \sin \phi + \cos \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (1)$$

$$\ddot{Y} = (-\cos \psi \sin \phi \sin \psi \sin \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (2)$$

$$\ddot{Z} = -g + (\cos \theta \cos \phi) \frac{U_1}{m} \quad (3)$$

$$\dot{p} = \frac{I_{YY} - I_{ZZ}}{I_{XX}} q r - \frac{I_{TP}}{I_{XX}} q \Omega + \frac{U_2}{I_{XX}} \quad (4)$$

$$\dot{q} = \frac{I_{ZZ} - I_{XX}}{I_{YY}} p r + \frac{I_{TP}}{I_{YY}} p \Omega + \frac{U_3}{I_{YY}} \quad (5)$$

$$\dot{r} = \frac{I_{XX} - I_{YY}}{I_{ZZ}} p q + \frac{U_4}{I_{ZZ}} \quad (6)$$

Persamaan (7) menggambarkan hubungan antara kecepatan sudut *Quadrotor* dalam *B-frame* dengan kecepatan acuan kerangka *Quadrotor E-frame* menggunakan matriks transfer T_Θ yang diturunkan dari persamaan *Euler*.

$$\begin{bmatrix} \dot{p} \\ \dot{q} \\ \dot{r} \end{bmatrix} = T_\Theta^{-1} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Dengan T_Θ^{-1} dan T_Θ berdasarkan persamaan (8) dan (9).

$$T_\Theta^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -s_\theta \\ 0 & c_\theta & c_\theta s_\phi \\ 0 & -s_\theta & c_\theta c_\phi \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$T_\Theta = \begin{bmatrix} 1 & s_\phi t_\theta & c_\phi t_\theta \\ 0 & c_\phi & -s_\phi \\ 0 & \frac{s_\phi}{c_\theta} & \frac{c_\phi}{c_\theta} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Sedangkan input dari persamaan umum (1)-(6) ditentukan dari persamaan (10)-(14).

$$U_1 = b (\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (10)$$

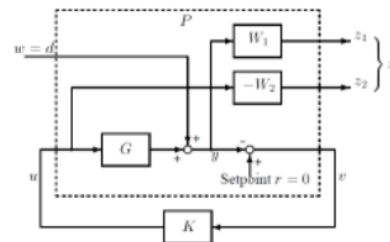
$$U_2 = b l (\Omega_4^2 - \Omega_2^2) \quad (11)$$

$$U_3 = b l (\Omega_3^2 - \Omega_1^2) \quad (12)$$

$$U_4 = d (\Omega_2^2 + \Omega_4^2 - \Omega_1^2 - \Omega_3^2) \quad (13)$$

$$\Omega = -\Omega_1 + \Omega_2 - \Omega_3 + \Omega_4 \quad (14)$$

2.2 Mixed-sensitivity H_∞ control

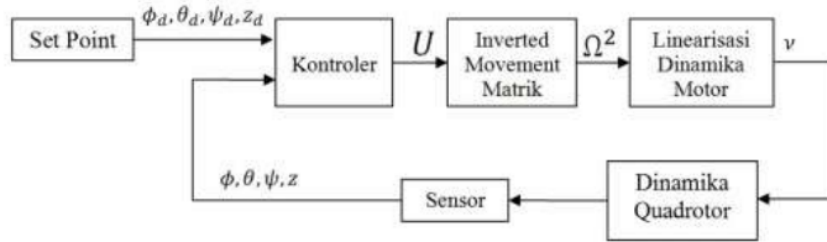


Gambar 2. S/KS *mixed-sensitivity*[2]

Mixed-sensitivity adalah suatu metode kontrol *robust* yang mempunyai bentuk problem dengan *sensitivity function* $S = (I + GK)^{-1}$ yang dibentuk bersama dengan satu atau lebih fungsi lain seperti fungsi *KS* ataupun fungsi *complementary sensitivity* $T = 1 - S$ dengan bentuk[2]

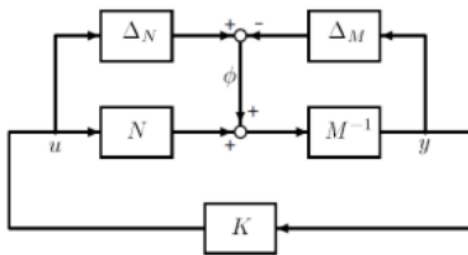
$$\left\| \begin{bmatrix} W_1 S \\ W_2 K S \end{bmatrix} \right\|_\infty \quad (15)$$

Dimana W_1 dan W_2 adalah fungsi pembobotan. Perancangan *mixed sensitivity* ini disebut *S/KS mixed sensitivity* adalah desain dengan tujuan stabilitas *robust* untuk plant nominal dengan *additive perturbation*[1].



Gambar 4. Sistem kontrol umpan balik quadrotor

2.3 H_∞ control Loop-Shaping Design



Gambar 3. H_∞ control Loop-Shaping Design[1]

Pada gambar 3 diperlihatkan plant dengan gangguan *normalised left coprime factorization* dan stabilitas *robust* digunakan dalam hal ini untuk merancang kontroler H_∞ *loop-shaping*[1][2].

perancangan kontroler ini digunakan dua gangguan yang stabil, Meskipun deskripsi ketidakpastian ini terkesan tidak realistis dan kurang intuitif dari pada yang lain. ini sebenarnya cukup untuk tujuan stabilitas H_∞ yang robust. Plant G memiliki *normalized left coprime factorization* Sehingga G_p Plant dengan gangguan bisa ditulis sebagai

$$G_p = (M + \Delta_M)^{-1}(N + \Delta_N) \quad (16)$$

Dimana Δ_M , Δ_N adalah fungsi alih yang stabil yang merepresentasikan ketidakpastian nominal model dari plant G . Tujuan stabilisasi robust tidak hanya untuk nominal model plant G , tapi kesatuan plant dengan gangguan yang didefinisikan oleh

$$G_p = \{(M + \Delta_M)^{-1}(N + \Delta_N)\} : \|\Delta_M \Delta_N\|_\infty < \epsilon \quad (17)$$

Dimana $\epsilon > 0$ adalah batas stability

Untuk sistem loop tertutup dengan gangguan seperti gambar, maka akan stabil dengan *robust* jika dan hanya jika sistem loop tertutup stabil dan meminimalkan fungsi

$$\gamma = \left\| \begin{bmatrix} K \\ I \end{bmatrix} (I - GK)^{-1} \hat{M}^{-1} \right\|_\infty \quad (18)$$

2.4 Implementasi model attitude quadrotor

Strategi control quadrotor yang digunakan adalah seperti gambar 4. Untuk keperluan perhitungan, simulasi dan analisis, nilai parameter model dinamika quadrotor yang digunakan adalah nilai pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter model dinamika Quadrotor[15]

Simbol	Satuan	Nilai	Keterangan
b	N.s ²	$54,2 \times 10^{-6}$	faktor thrust
d	N.m.s ²	$1,1 \times 10^{-6}$	faktor drag
g	m.s ⁻²	9,81	percepatan gravitasi
I_{xx}	N.m.s ²	$8,3 \times 10^{-3}$	momen inersia pada sumbu x
I_{yy}	N.m.s ²	$8,8 \times 10^{-3}$	momen inersia pada sumbu y
I_{zz}	N.m.s ²	$15,5 \times 10^{-3}$	momen inersia pada sumbu z
J_M	N.m.s ²	$5,39 \times 10^{-6}$	momen inersia sumbu motor
J_{BB}	N.m.s ²	$17,29 \times 10^{-6}$	momen inersia sumbu baling-baling
J_{FBB}	N.m.s ²	5×10^{-7}	momen inersia penutupbaling-baling
J_{TP}	N.m.s ²	$2,3 \times 10^{-6}$	momen inersia total sekitar sumbu motor
K_E	V.s/rad	$5,8 \times 10^{-3}$	konstanta elektrik motor
K_M	N.m/A	$5,8 \times 10^{-3}$	konstanta mekanik motor
l	M	0,23	Jarak pusat baling-baling terhadap pusat Quadrotor
m	Kg	1,2	massa Quadrotor
R	Ohm	$41,2 \times 10^{-3}$	keseluruhan hambatan motor

2.5 Strategi kontrol quadrotor

Persamaan (1)-(6) diatas akan disederhanakan menggunakan pertimbangan sebagai berikut[14]:

- Quadrotor pada saat *hovering*, hanya terjadi perubahan sudut yang kecil. maka persamaan percepatan sudut dapat disederhanakan.
- Percepatan sudut direferensikan terhadap sudut quadrotor yang di ukur dalam frame tetap, pada saat *hovering* persamaan percepatan direferensikan langsung terhadap percepatan sudut euler.
- Dalam tugas akhir ini, hanya untuk menstabilkan attitude (Sudut euler) daan tinggi quadrotor, maka persamaan posisi X dan Y bisa dihapus

Menggunakan 3 pertimbangan diatas persamaan (1)-(6) bisa disederhanakan menjadi:

$$\ddot{z} = -g + (\cos\theta\cos\phi)\frac{U_1}{m}$$

$$\ddot{\phi} = \frac{U_2}{I_{xx}}$$

$$\ddot{\theta} = \frac{U_3}{I_{yy}}$$

$$\ddot{\psi} = \frac{U_4}{I_{zz}}$$
(19)

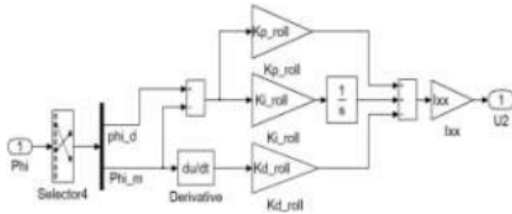
2.5.1 Perancangan kendali PID konvensional

Pada penelitian ini struktur blok kendali PID yang digunakan adalah struktur PID paralel yang tidak saling tergantung (*independent*).

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_d \frac{d}{dt}e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) \quad (20)$$

A. Roll control

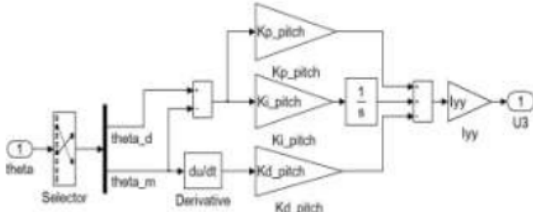
Mengacu pada persamaan (19) blok diagram dari sistem kontrol PID roll dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 5. Blok diagram roll control

B. Pitch control

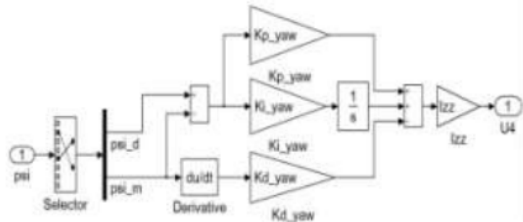
Mengacu pada persamaan (19) blok diagram dari sistem kontrol PID pitch dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 6. Blok diagram pitch control

C. Yaw control

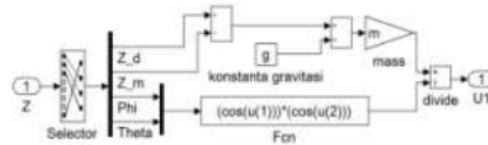
Mengacu pada persamaan (19) blok diagram dari sistem kontrol PID yaw dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 7. Blok diagram yaw control

D. Height control (kontrol ketinggian)

Mengacu pada persamaan (19) blok diagram dari sistem kontrol untuk kontrol ketinggian dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 8. Blok diagram height control

2.5.2 Robust design

A. Perancangan kontroler PID IAE

Pada perancangan kendali PID ini digunakan GA sebagai optimisasi untuk mendapatkan parameter kontroler.

Langkah 1: Tentukan struktur K seperti persamaan (20)

Langkah 2: Tentukan parameter GA seperti populasi, probabilitas pindah silang probabilitas mutasi, maksimum generasi dan lainnya

Langkah 3: Evaluasi fungsi fitness $-(Jcost)$ untuk setiap kromosom dengan

$$Jcost = I_{IAE} = \int_0^T |e(t)| dt \quad (21)$$

Jika pole loop sistem kontrol tertutup berada di sisi kanan garis bidang-s buat $Jcost$ sangat besar, pilih kromosom dengan fungsi fitness paling kecil sebagai solusi dari generasi tersebut jadikan Gen=1

Langkah 4: Tingkatkan Gen untuk satu langkah

Langkah 5: Jika generasi kurang dari generasi maksimal, buat populasi baru menggunakan GA lalu ulangi langkah 4

Jika sudah mencapai generasi maksimal, stop.

B. Perancangan kontroler Robust PID H_∞ Mixed sensitivity

Pada perancangan kendali Robust PID H_∞ Mixed sensitivity ini digunakan GA sebagai optimisasi untuk mendapatkan parameter kontroler.

Langkah 1: Bentuk nilai singular dari W_1 dan W_2

Langkah 2: Tentukan struktur K seperti persamaan (20)

Langkah 3: Tentukan parameter GA.

Langkah 4: Evaluasi fungsi fitness $-(Jcost)$ untuk setiap kromosom dengan

$$Jcost = \left\| \begin{bmatrix} W_1 S \\ W_2 K S \end{bmatrix} \right\|_\infty \quad (22)$$

Jika pole loop sistem kontrol tertutup berada di sisi kanan garis bidang-s buat $Jcost$ sangat besar, pilih

kromosom dengan cost function paling kecil sebagai solusi dari generasi tersebut jadikan Gen=1

- Langkah 5: Tingkatkan Gen untuk satu langkah
 Langkah 6: Jika generasi kurang dari generasi maksimal, buat populasi baru menggunakan GA lalu ulangi langkah 5
 Jika sudah mencapai generasi maksimal, stop.

C. Perancangan kontroler *Robust PID H_∞ Loop Shaping*

Pada perancangan kendali *Robust PID H_∞ Loop Shaping* ini digunakan GA sebagai optimisasi untuk mendapatkan parameter kontroler.

- Langkah 1: Tentukan struktur K seperti persamaan (20)
 Langkah 2: Tentukan parameter GA.
 Langkah 3: Evaluasi fungsi fitness (J_{cost}) untuk setiap kromosom dengan

$$J_{cost} = \left\| \begin{bmatrix} K \\ I \end{bmatrix} (I - GK)^{-1} \hat{M}^{-1} \right\|_{\infty} \quad (23)$$

Jika pole loop sistem kontrol tertutup berada di sisi kanan garis bidang-s buat J_{cost} sangat besar, pilih kromosom dengan cost function paling kecil sebagai solusi dari generasi tersebut jadikan Gen=1

- Langkah 4: tingkatkan Gen untuk satu langkah
 Langkah 5: Jika generasi kurang dari generasi maksimal, buat populasi baru menggunakan GA lalu ulangi langkah 5
 Jika sudah mencapai generasi maksimal, stop.

2.6 Algoritma Genetika

Pada penelitian ini, individu pada algoritma genetika dirancang menggunakan *real-number encoding*. Dimana setiap individu didekoden dengan angka yang dibangkitkan secara acak yang berada dalam batas yang ditentukan.

6.476	Kromosom 1 → K_d
13.44	Kromosom 2 → K_p
6.727	Kromosom 3 → K_i

Gambar 9. Ilustrasi individu pada algoritma genetika

Ukuran populasi dalam suatu generasi yang digunakan adalah 500 serta jumlah generasi yang digunakan adalah 500. Fungsi objektif dalam algoritma genetika ini adalah persamaan (21) untuk perancangan kontroler PID IAE, Persamaan (22) untuk perancangan kontroler *Robust PID H_∞ Mixed sensitivity* dan Persamaan (23) untuk perancangan kontroler *Robust PID H_∞ Loop Shaping*.

Dalam perancangan tugas akhir ini, nilai fungsi *fitness* diberikan oleh persamaan berikut

$$Fitness = -J_{cost} \quad (24)$$

Pada tugas akhir ini mutasi yang digunakan menggunakan algoritma *uniform mutation*. *Uniform mutation* mengambil secara acak sebuah variabel j , dan mengubah nilainya setara dengan nilai acak $U(a_i, b_i)$ [16]

$$\dot{x}_i = \begin{cases} U(a_i, b_i) & \text{if } i = j \\ x_i & \text{either} \end{cases} \quad (25)$$

Pada tugas akhir ini pindah silang yang digunakan menggunakan algoritma *Arithmetic crossover*. *Arithmetic crossover* membuat dua buah kombinasi komplemen yang linear dari induk, dimana $r = U(0,1)$ [16]

$$\begin{aligned} \dot{X} &= rX + (1-r)Y \\ \dot{Y} &= (1-r)X + rY \end{aligned} \quad (26)$$

Proses seleksi yang digunakan pada algoritma genetika ini adalah *Normalised geometric selection*.

2.7 Perancangan kontrol posisi quadrotor

2.7.1 Model kontrol posisi quadrotor

Metode nya adalah tetap menjaga Ψ konstan. Gerakan sepanjang sumbu X disebabkan rotasi θ (pitch), dan gerakan sepanjang sumbu Y disebabkan rotasi Φ (roll). Keuntungan dari metode ini adalah kedua inputnya tidak saling terakait dan perubahan ketinggian tergantung terhadap perubahan *throttle*.

Maka didapatkan persamaan kontrol posisi quadrotor sebagai berikut:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\dot{x}_1}{\dot{z}_1 + g}\right) \quad (27)$$

$$\phi = \arctan\left(\frac{-\dot{y}_1}{\sqrt{\dot{x}_1^2 + (\dot{z}_1 + g)^2}}\right) \quad (28)$$

$$F = -\frac{m}{\sin\phi} \dot{y}_1 \quad (29)$$

2.7.2 Parameter kontrol posisi quadrotor

Dalam perancangan sistem kontrol position *Quadrotor* penting untuk menentukan parameter-parameter pengontrolannya, yaitu *parameter Proportional* (K_p), *parameter Integral* (K_i), dan *parameter Derivative* (K_d). Dalam penentuan parameter-parameternya, banyak cara yang bisa dilakukan, seperti tuning dengan cara trial and error, dengan metode optimisasi, metode *pole placement*, *Ziegler-nichols* dan lainnya. Namun *tuning* yang dilakukan pada pengontrolan posisi *Quadrotor* laporan ini menggunakan metode optimisasi yaitu *Simulink Design Optimization*.

3. Hasil dan Analisa

3.1 Tuning Parameter PID

Pemilihan Parameter PID berupa konstanta *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative*-nya, dilakukan dengan cara

metode optimisasi menggunakan algoritma genetika. Hasil tuning Parameter PID dengan cara metode optimisasi menggunakan algoritma genetika dirangkum dalam Tabel 2.

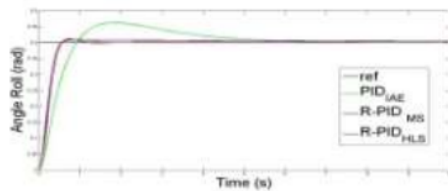
Tabel 2. Hasil tuning parameter PID menggunakan algoritma genetika

Kontroler	Mode	Kp	Ki	Kd
PID IAE	Roll	18.0696	9.2204	8.9459
	Pitch	16.1727	8.2077	7.9933
	Yaw	18.9714	9.5544	9.4600
R-PID MS	Roll	42.3821	3.9735	9.0634
	Pitch	26.7187	0.6817	9.4879
	Yaw	33.4860	3.1452	9.6257
R-PID HLS	Roll	30.1720	0.0609	6.6453
	Pitch	28.3845	0.0695	7.2925
	Yaw	33.2355	0.2999	9.4068

3.2 Perbandingan Sistem kontrol PID, R-PID MS dan R-PID HLS

3.2.1 Roll Control

Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan nilai berupa nilai *setpoint* sebesar 0.2 rad, 0.3 rad dan 0.4 rad lalu hasil simulasi dibandingkan untuk setiap kontroler.



Gambar 10. Respon roll control dengan setpoint 0.4 rad

Respon pengujian sistem *roll control* terhadap *setpoint* normal dirangkum dalam Tabel 3.

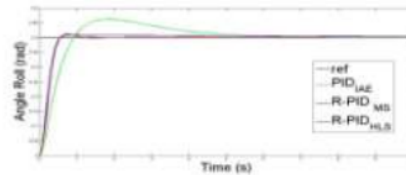
Tabel 3. Perbandingan respon pengujian setpoint normal (roll)

Setpoint (rad)	Kontroler	Rising time (s)	Settling time (s)	Integral Area Error
0.2	PID IAE	0.9082	6.008	0.1606
	R-PID MS	0.5378	8.408	0.07218
	R-PID HLS	0.536	1.02	0.05429
0.3	PID IAE	0.9131	6.142	0.2415
	R-PID MS	0.5432	8.942	0.1081
	R-PID HLS	0.5422	1.055	0.0895
0.4	PID IAE	0.9201	6.158	0.3221
	R-PID MS	0.5596	8.758	0.1441
	R-PID HLS	0.5542	1.1	0.1072

Dari Tabel 3, dapat diketahui bahwa respon sistem *roll control* pada *setpoint* 0.2 rad, 0.4 rad, dan 0.6 rad dengan R-PID HLS mencapai waktu *settling time* tercepat dibanding R-PID MS dan PID IAE. Berdasarkan nilai *Integral Area Error* (IAE) pada sistem, nilai IAE dengan R-PID HLS selalu lebih kecil dibanding IAE dengan R-PID MS dan PID IAE.

3.2.2 Pitch Control

Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan nilai berupa nilai *setpoint* sebesar 0.2 rad, 0.3 rad dan 0.4 rad lalu hasil simulasi dibandingkan untuk setiap kontroler.



Gambar 11. Respon pitch control dengan setpoint 0.4 rad

Respon pengujian sistem *pitch control* terhadap *setpoint* normal dirangkum dalam Tabel 4

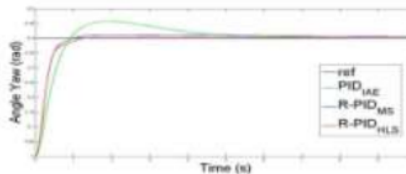
Tabel 4. Perbandingan respon pengujian setpoint normal (pitch)

Setpoint (rad)	Kontroler	Rising time (s)	Settling time (s)	Integral Area Error
0.2	PID IAE	0.8653	6.008	0.1616
	R-PID MS	1.137	1.825	0.08339
	R-PID HLS	0.602	1.244	0.05961
0.3	PID IAE	0.8593	5.942	0.2423
	R-PID MS	1.28	1.819	0.1244
	R-PID HLS	0.5922	1.286	0.09008
0.4	PID IAE	0.8586	5.958	0.3234
	R-PID MS	1.117	1.575	0.1644
	R-PID HLS	0.5767	1.198	0.1204

Dari Tabel 4, dapat diketahui bahwa respon sistem *pitch control* pada *setpoint* 0.2 rad, 0.4 rad, dan 0.6 rad dengan R-PID HLS mencapai waktu *settling time* tercepat dibanding R-PID MS dan PID IAE. Berdasarkan nilai *Integral Area Error* (IAE) pada sistem, nilai IAE dengan kontroler R-PID HLS selalu lebih kecil dibanding IAE dengan R-PID MS dan PID IAE.

3.2.3 Yaw Control

Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan nilai berupa nilai *setpoint* sebesar 0.2 rad, 0.3 rad dan 0.4 rad lalu hasil simulasi dibandingkan untuk setiap kontroler.



Gambar 12. Respon yaw control dengan setpoint 0.4 rad

Respon pengujian sistem *yaw control* terhadap *setpoint* normal dirangkum dalam Tabel 5

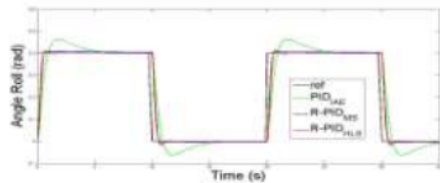
Tabel 5. Perbandingan respon pengujian *setpoint* normal (*yaw*)

Setpoint rad)	Kontroler	Rising time (s)	Settling time (s)	Integral Area Error
0.2	PID IAE	0.9082	6.008	0.1581
	R-PID MS	0.8688	8.608	0.08895
	R-PID HLS	1.244	1.244	0.06304
0.3	PID IAE	0.9062	6.142	0.235
	R-PID MS	0.9476	8.942	0.1324
	R-PID HLS	1.286	1.286	0.09428
0.4	PID IAE	0.9066	6.358	0.3101
	R-PID MS	0.9989	8.758	0.1757
	R-PID HLS	1.32	1.32	0.1263

Dari Tabel 5, dapat diketahui bahwa respon sistem *yaw control* pada *setpoint* 0,2 rad, 0,4 rad, dan 0,6 rad dengan R-PID HLS mencapai waktu *settling time* tercepat dibanding R-PID MS dan PID IAE. Berdasarkan nilai *Integral Area Error* (IAE) pada sistem, nilai IAE dengan kontroler R-PID HLS selalu lebih kecil dibanding IAE dengan R-PID MS dan PID IAE.

3.3 Pengujian terhadap Setpoint Naik-Turun

Pengujian terhadap *setpoint* naik-turun dilakukan dengan masukan sistem berupa sinyal gelombang kotak dengan nilai *setpoint* naik-turun sebesar 0,3 rad.



Gambar 13. Respon sistem roll *setpoint* naik-turun

Respon pengujian sistem *yaw control* terhadap *setpoint* normal dirangkum dalam Tabel 6

Tabel 6. Perbandingan IAE pengujian *setpoint* naik-turun

Sistem	Integral Area Error Kontroler		
	PID IAE	R-PID MS	R-PID HLS
Roll	1.243	0.4951	0.404
Pitch	1.301	0.6359	0.4864
Yaw	1.235	0.6346	0.4852

Berdasarkan perbandingan nilai IAE dari tabel 6, dapat diketahui bahwa pada sistem kontroler R-PID HLS selalu lebih kecil dari pada kontroler R-PID MS dan PID IAE.

3.4 Position Control

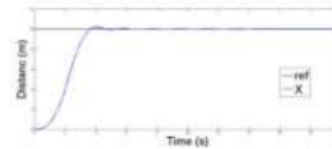
3.4.1 Tuning Parameter Position Control

Tuning parameter *position control* menggunakan *Simulink Signal constraint*. Dari Tuning Parameter tersebut didapatkan parameter sebagai berikut:

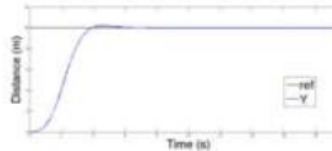
$K_{pz}=70$, $K_{iz}=22.6791$, $K_{dz}=13.2304$.
 $K_{px}=2.4795$, $K_{dx}=3.2056$.
 $K_{py}=1.2883$, $K_{dy}=1.7667$.

3.4.2 Position Control

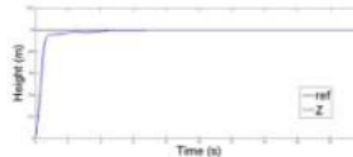
Pengujian terhadap *position control* dilakukan dengan masukan sistem berupa sinyal step $X=10$, $Y=10$ dan $Z=1$. Kontrol posisi *quadrotor* dengan konfigurasi seperti dalam tugas akhir ini sangat bergantung kepada stabilitas kontrol *attitude quadrotor*. Oleh karena itu kontroler yang dipakai adalah kontrol R-PID HLS dalam kontrol posisi ini untuk mengontrol stabilitasnya. Berikut hasil simulasi pengendalian posisi *quadrotor* UAV pada tugas akhir ini



Gambar 14. Simulasi Position control gerak translasi X

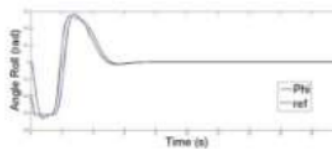


Gambar 15. Simulasi Position control gerak translasi Y

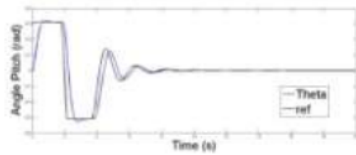


Gambar 16. Simulasi Position control gerak translasi Z

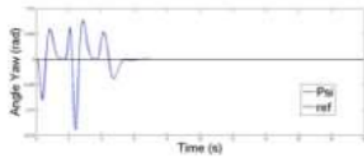
Dengan konsep kontroler menggunakan *inner kontroler* berupa *attitude kontroler*, menyebabkan *quadrotor* stabil. Dengan desain *inner kontroler* yang *robust* maka sistem akan lebih cepat merespon masukan. Berikut hasil simulasi *attitude control* saat *quadrotor* bergerak pada posisi tertentu.



Gambar 17. Hasil Simulasi stabilitas *attitude quadrotor* saat mode *position control* (Roll)



Gambar 18. Hasil Simulasi stabilitas attitude quadrotor saat mode position control (Pitch)



Gambar 19. Hasil Simulasi stabilitas attitude quadrotor saat mode position control (Yaw)

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penggunaan algoritma genetika dapat menentukan parameter kontroler PID ataupun R-PID. Pengontrolan sistem attitude quadrotor dengan menggunakan robust PID H_∞ loop shaping mempunyai indeks performance yang lebih baik dari pengontrolan dengan menggunakan PID dan robust PID H_∞ mixed sensitivity. Kontroler robust PID H_∞ loop shaping yang digunakan saat position control berhasil menjaga stabilitas dan performansi attitude quadrotor.

DESAIN SISTEM KONTROL ROBUST PID H^∞ CONTROL DENGAN OPTIMASI GENETIC ALGORITHM UNTUK ATTITUDE CONTROL QUADROTOR UAV

ORIGINALITY REPORT

4%

SIMILARITY INDEX

4%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

www.ejournal-s1.undip.ac.id

Internet Source

4%

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches

< 15 words

DESAIN SISTEM KONTROL ROBUST PID H^∞ CONTROL DENGAN OPTIMASI GENETIC ALGORITHM UNTUK ATTITUDE CONTROL QUADROTOR UAV

GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

/0

GENERAL COMMENTS

Instructor

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8